

數值天氣預報應用在風力發電預測之研究

謝焮諺¹、周儷芬¹、張志榮¹、盧辛源¹、曹顯瀚¹、呂藝光²
台灣電力公司綜合研究所¹ 國立臺灣師範大學電機工程學系²

摘要

2017年政府正加速推動能源轉型，期使再生能源發電佔比在2025年能達到20%的目標。針對風力發電，經濟部也擬定「風力發電4年推動計畫」，規劃在4年內增加至1,334 MW的裝置容量，進而於2025年達到4.2 GW(陸域風機1.2GW、離岸風機3 GW)的設置目標。由於風力發電屬間歇性能源，發電的不確定性將造成電力調度困難及電網運轉操作成本增加。因此，本文結合風機風速資料與數值天氣預報資料，開發模糊類神經網路預測模型，並針對台電公司陸域風機進行未來48小時之發電出力預測研究，期藉由預測來降低風力發電出力變動對電力系統的衝擊。

關鍵字：數值天氣預報、模糊類神經網路、風力發電預測

一、前言

105年新政府團隊上任後揭示將加速推動再生能源，2025年前將落實非核家園以及降低碳排放量政策，行政院能源減碳辦公室在風力發電發展方面所訂定的「風力發電4年推動計畫」短期目標，在106至109年的四年內將增加陸域風機裝置容量至814MW及離岸風機裝置容量至520MW，逐步帶動風力發電的發展由陸域推向離岸，目標是提前於2025年完成3,000MW離岸風機的安裝，陸域與離岸共將設置1,000架以上風機，總裝置容量將達到4,200MW [1]，由此可見，未來風力發電在電網的佔比將十分可觀。

風力發電屬於間歇性能源，當風電在電網的佔比提高到一定比例時，其注入電網的電力變動易造成電力系統不穩定。台灣電網屬獨立系統，與歐陸、美洲、中國等電力系統不同，無法與鄰近地區或國家的電網相連，風力發電等間歇性再生能源併網所造成的衝擊影響相對嚴峻。由於無法預估的出力將增加電力調度困難度及電網運轉投資與操作成本，如果可以提前預測風力發電出力的變動，調度及運轉單位便有較充裕的時間可以因應。因此，發展風力發電預測是大量風電注入電力系統所不可或缺的重要配套技術之一；國外某些電力自由化市場，風力發電業者必須提供未來24小時的發電量預測以便決定市場交易價格。因此，開發建置一先進的風力發電預測系統，提供電力系統運轉所需的輔助資訊將更形重要。

二、預測方法

風速是決定風力發電出力變化的主要因素，然而受到地形、溫度、氣壓等變數影響，風速呈現複雜且非線性的變化。短期的風速變化主要受天氣系統持續性的影響，可透過歷史數據依統計模型進行迴歸分析來預測風速；然而長領前時間的風速變化則需考慮大氣運動的過程，僅利用單一物理模型或統計模式難以精準的預測風速。國際間相關領域預測風速時，通常會採用組合多種預測模型的方法來進行預測[2-4]，例如結合類神經網路、模糊邏輯系統與氣象預報資訊等，以有效地進行長領前時間的預測。本文將介紹的即是應用模糊類神經網路(Fuzzy Neural Networks, FNNs)於未來48小時風力發電預測系統的開發。

FNNs模式的優點在於能學習輸入與輸出間的關係，而不需要提供轉換的數學函式，由於風力發電預測具有不同變數的多輸入以及相異變數間轉換的特性，不容易以特定的數學函式來呈現，而利用FNNs技術可以轉換此一複雜的非線性且時變的關係，進而獲得較佳的預測結果。本研究係結合過去風速歷史資料與數值天氣預報資料，建立領前時間為48小時之風力發電預測系統，該預測系統由四個單元組成，如圖1所示。預測系統包括風機監控平台、氣象預報資訊、類神經網路預測模型以及視覺化展示等單元。其中以FNNs技術是整個預測系統架構之核心，模糊類神經網路同時接收來自風機監控平台的即時運轉資料，以及氣象預報所提供未來48小時數值天氣預報資料，透過大量歷史資料及氣象預報資料來訓練FNNs預測模型，經訓練學習後所得的模型可預測未來1至48小時風速，並透過風功率曲線轉換成風場發電量，而預測結果再透過視覺化單元以網頁方式呈現。

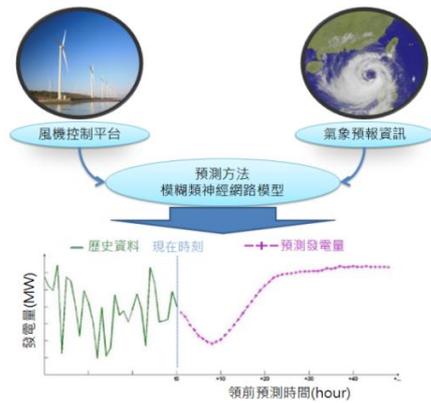


圖 1 風力發電預測系統架構

本文所設計風力發電出力預測機制的網路模型，如圖2所示，包括輸入層、歸屬函數層、規則層以及輸出層之四層網路架構，以進行領前時間1至48小時的風速預測。該網路模型以過去3小時風速資料(Wind(k)、Wind(k-1)、Wind(k-2))，結合未來3小時氣象預報風速(Wind(k+1)、Wind(k+2)、Wind(k+3))，進行網路訓練與測試，其中網路訓練主要是網路內部參數的學習，測試過程則是在驗證整體網路學習成效，藉由學習過之FNNs預測模型，計算出未來1個小時的風速，未來2至48小時風速之預測則是以同樣演算法逐時迭帶而得。

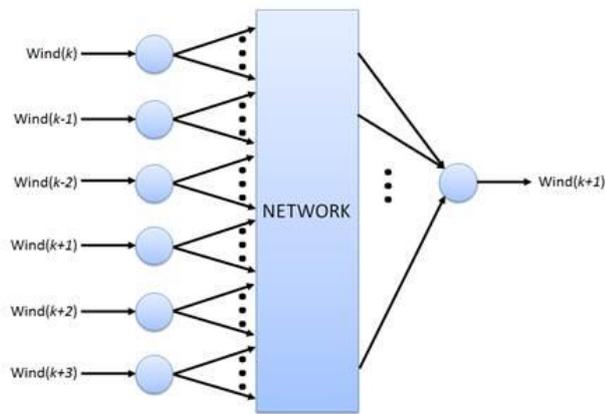


圖 2 預測系統網路模型

三、視覺化系統設計

台電公司現有20個風場總裝置容量為294MW，為提供風機維護單位在運維時程以及調度單位在機組排程的規劃參考，針對各風場進行未來48小時風力發電預測系統網頁的建置以即時呈現預測資訊。圖3為開發完成的風力發電預測網頁，畫面的中央為預測時間點105年10月9日21:00，右側綠色曲線為台灣本島台

電風場未來48小時總發電量的預測值，左側紫色曲線為歷史觀測發電量，藍色曲線則為過去48小時領前1小時的預測發電量值。風力發電預測網頁的首頁除呈現本公司於台灣本島所有風場總發電量之預測頁面，亦可透過勾選方式呈現單一風場或組合風場的總發電量預測結果，以利於使用者挑選關注的風場進行查詢分析應用。

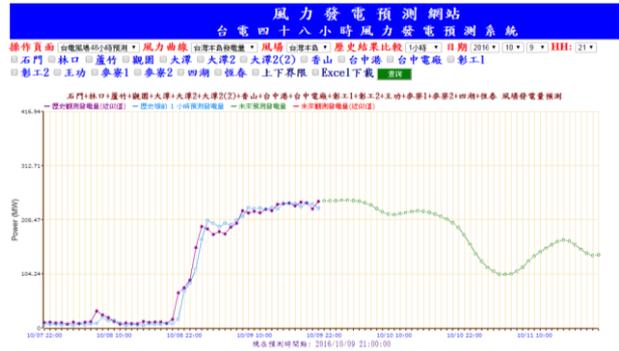


圖 3 風力發電預測動態網站首頁

四、預測效能評估

本文採用正規化平均絕對誤差(normalized mean absolute error, NMAE)進行風力發電預測準確度的評估，其定義如下所示：

$$NMAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left| \frac{100}{C} (y(i) - \hat{y}(i)) \right|$$

其中 $y(i)$ 及 $\hat{y}(i)$ 分別表示觀測值與預測值， N 為取樣個數， C 表示風場裝置容量。

表1顯示105年各風場領前4小時及領前24小時預測的NMAE值，領前4小時預測的NMAE值分布範圍在7.02%至17.35%，領前24小時預測的NMAE值分布在9.56%至21.3%，領前24小時的NMAE預報誤差除大潭II-2的NMAE值大於20%，其餘風場的NMAE值都在20%以內，符合中國對於風電併網的要求領前24小時的預報誤差在20%以內[5]。105年的預測準確度以離島澎湖風場表現最佳，湖西風場領前4小時/24小時的NMAE值分別為7.02%、9.56%，都在10%以內，中屯風場領前4小時/24小時的預測誤差表現次之，分別為8.26%、11.22%。

以風速頻率分布曲線來說明不同風場的預測效能差異性，如圖4所示分別為離島澎湖湖西風場(上)、離島金門風場(中)及台灣本島彰工風場(下)的風速頻率分佈分佈曲線，以風機啟動風速與滿載風速將風速分

佈特性切分成三個區段；圖中顯示湖西、金門、彰工風場的滿載風速佔比分別為17.6%、2.8%、13.7%，而由預測效能分析顯示三個風場領前24小時的NMAE值分別為9.56%、19.73%、14.58%；澎湖地區由於位處台灣海峽中間，其風能受地形影響小風速穩定變化，滿載風速達17.6%，使得領前24小時的預測誤差NMAE值的表現最佳為9.56%，金門風場接近中國大陸，滿載風速佔比低僅2.8%，預測效能表現也最差NMAE值達到19.73%，而台灣本島風況較佳的彰工風場滿載風速為13.7%，預測誤差NMAE值的表現居中為14.58%，由此可見各風場特性的差異，除影響風能的大小也會造成預測效能的表現有所不同。而風場預測誤差較大的另一原因是，預測時採用風場內風機的平均風速當作風場的代表風速，若風速計異常或通訊異常時，風場的平均風速將會有所偏差進而影響到預測的準確度。因此，後續在預測分析效能的改善上，風速計及機組實際運轉狀態將會納入考量，並持續改善預測技術以提升個別風場的預測準確度。

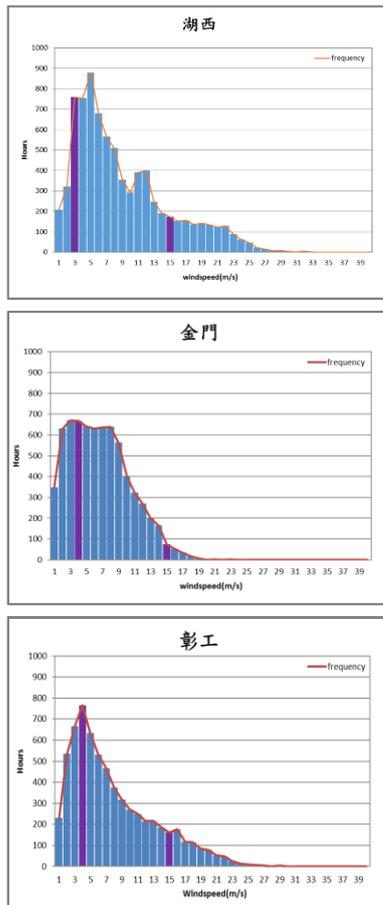


圖4 湖西風場、彰工風場以及金門風場的风速频率分布曲线

表1 2016年48小時風力發電預測正規化平均絕對誤差

預測領前時間	正規化平均絕對誤差, NMAE (風場)
4小時	7.02% (湖西) 至 17.35% (大潭II-2)
24小時	9.56% (湖西) 至 21.3% (大潭II-2)

五、結論

本研究結合風場即時運轉資料和數值天氣預報資訊，以FNNs預測機制之開發並將預測結果透過網頁的方式呈現，完成未來48小時風力發電即時預測系統，預測範圍涵蓋台電公司陸域風場所有風機，該系統的類神經網路模型設計具有未來48小時良好的預測效能，預測值呈現與未來實際值相同趨勢。預測效能表現以澎湖地區湖西風場的表面最佳，領前4小時/24小時的NMAE值分別為7.02%、9.56%。未來的研究方向主要是持續改進各風場預測的準確度，由於風機的發電量非僅由風速決定，需再考量其他因素，例如風向、人為因素(降載運轉等等)，以更精確預測各風場的實際發電量值。

六、致謝

本預測系統之完成，首先要感謝中央氣象局及颱風中心提供數值天氣預報資料，使長領前時間之預測工作得以順利進行；同時感謝台電公司綜合研究所長官對本項工作的支持，使得風力發電預測系統的建置能順利進行。

七、參考文獻

- [1] 風力發電4年推動計畫
http://www.ey.gov.tw/hot_topic.aspx?n=77BF0EFE1E3D929B&sms=AB6DDD647F8C8954
- [2] Giebel, Gregor, et al. The state-of-the-art in short-term prediction of wind power: A literature overview. ANEMOS. plus, 2011.
- [3] Liu, Y., Lu, X.F., Fang, R.M., and Song, Y.B., "A review on wind speed forecast methods in wind power system," Power system and clean energy, vol.26 no. 6, 2010.
- [4] Monteiro, C., et al. A quick guide to wind power forecasting: state-of-the-art 2009. No. ANL/DIS-10-2. Argonne National Laboratory (ANL), 2009.
- [5] Chen, Niya, et al. "Wind power forecasts using Gaussian processes and numerical weather prediction," IEEE Transactions on Power Systems 29.2 (2014): 656-665.